

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ANTIFÚNGICO DE FILMES BIODEGRADÁVEIS DE AMIDO DE FEIJÃO COM ÓLEO ESSENCIAL DE CASCA DE LARANJA

GRACIELE SARAIVA LEMOS¹; JÉSSICA SILVEIRA VITÓRIA²; FRANCINE TAVARES DA SILVA³; LAURA MARTINS FONSECA⁴; ELIEZER ÁVILA GANDRA⁵; ELESSANDRA DA ROSA ZAVAREZE⁶

¹Universidade Federal de Pelotas – graciele.lemosqa@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – jessicasilveiravitoria@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – francine-ts@hotmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – laura_mfonseca@hotmail.com

⁵Universidade Federal de Pelotas – gandraea@hotmail.com

⁶Universidade Federal de Pelotas – elessandrad@yahoo.com.br

1. INTRODUÇÃO

A crescente conscientização sobre a sustentabilidade e a necessidade de reduzir o desperdício de alimentos têm impulsionado pesquisas voltadas ao desenvolvimento de embalagens biodegradáveis com propriedades adicionais, como por exemplo atividade antimicrobianas para a indústria alimentícia (BRUNI et al., 2020; EVANGELHO et al., 2019). Nesse contexto, o uso de biopolímeros, como o amido, destaca-se por sua abundância, baixo custo, e por ser renovável, biocompatível e biodegradável (PACHECO et al., 2024). Entre as diferentes fontes, o amido de feijão carioca tem se mostrado especialmente promissor para a produção de filmes, apresentando excelentes propriedades filmogênicas devido ao seu alto teor de amilose (EVANGELHO et al., 2021).

Além disso, a contaminação fúngica representa uma grande preocupação, especialmente em produtos de panificação, nos quais fungos como o *Penicillium crustosum* e o *Aspergillus flavus* são frequentemente associados à deterioração do alimento e a riscos à saúde, em razão da produção de micotoxinas (INGLIS et al., 2024). Uma das alternativas para controlar esse problema é o uso de óleos essenciais, que são ricos em compostos bioativos e podem ser incorporados em matrizes poliméricas, como o amido, resultando na formação de embalagens ativas (KRINGEL et al., 2021). O óleo essencial da casca da laranja (*Citrus sinensis L.*) é especialmente relevante para incorporação nessas embalagens, uma vez que seu principal componente, o D-limoneno, é eficaz contra *P. crustosum* e *A. flavus* (ANDRADE et al., 2020).

Apesar do potencial promissor, os estudos sobre filmes biodegradáveis de amido de feijão com óleo essencial de casca de laranja ainda são limitados (EVANGELHO et al., 2019). Assim, o objetivo deste estudo foi elaborar filmes biodegradáveis a partir de amido de feijão carioca, incorporando diferentes concentrações de óleo essencial de casca de laranja, visando de criar uma matriz antifúngica eficaz, capaz de reduzir ou substituir conservantes sintéticos e materiais não biodegradáveis em alimentos.

2. METODOLOGIA

Os filmes biodegradáveis foram elaborados pela técnica de *casting*, com adaptações na metodologia de EVANGELHO et al. (2019). Primeiramente, foi preparada uma solução filmogênica com 4% (p/v) de amido de feijão carioca, água

destilada e glicerol (30% p/p, em relação à massa seca de amido) como plastificante. A suspensão foi aquecida a 90 °C por 30 minutos sob agitação magnética. Após o resfriamento a 40 °C, o óleo essencial de casca de laranja foi adicionado à solução em concentrações de 5% e 10% (v/p, em relação à massa seca de amido) e a mistura foi homogeneizada. Para fins comparativos, também foi produzido um filme controle sem a adição de óleo essencial. A solução foi vertida em placas de Petri e seca em estufa com circulação de ar a 30 °C por aproximadamente 16 horas. Em seguida, os filmes foram então armazenados a 21 °C e 32% de umidade relativa, até a realização das análises.

A permeabilidade ao vapor de água (PVA) foi determinada em triplicata seguindo o método padrão E96-95-ASTM. Os filmes foram colocados em células de permeação contendo cloreto de cálcio anidro (CaCl_2) (0% UR) e incubados em um dessecador com solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4) a 30% (75% UR). A PVA foi calculada conforme a Equação 1.

$$\text{PVA} = \left(\frac{m_{ab}}{t} \frac{e}{A \Delta P} \right) \quad \text{Equação 1}$$

Em que m_{ab} é a massa de umidade absorvida (g), t é o tempo de incubação (s), e é a espessura do filme (m), A é a área de superfície exposta (m^2) e ΔP é a diferença de pressão parcial através do filme (3,166 kPa).

A atividade antifúngica dos filmes foi avaliada por microatmosfera, seguindo a metodologia de Ghabraie *et al.* (2016), com modificações. Filmes contendo 0%, 5% e 10% de óleo essencial, cortados em 40x40 mm, foram fixados na parte superior de placas contendo os fungos. As placas foram incubadas a 25 °C por 3 dias, e as unidades formadoras de colônias (UFC) foram contadas. A eficácia antifúngica foi expressa como a percentagem de redução do crescimento fúngico.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A adição de óleo essencial da casca de laranja reduziu a PVA dos filmes de amido de feijão, o que representa uma vantagem para aplicações em embalagens (Tabela 1). Essa redução ocorre porque os componentes hidrofóbicos do óleo essencial atuam como barreira, dificultando a passagem de umidade através do filme. Essa propriedade da matriz polimérica é essencial para o desenvolvimento de embalagens ativas, que podem proteger alimentos sensíveis à umidade contribuindo para a extensão da sua vida útil. Assim, a redução da PVA se mostra significativa com a adição de óleo essencial, embora não haja diferença estatisticamente significativa entre as concentrações de 5% e 10%. Esses resultados são consistentes com estudos anteriores, como o de Evangelho *et al.* (2019), que observaram comportamento similar em filmes de amido de milho incorporados com óleo essencial de casca de laranja.

Tabela 1. Permeabilidade ao vapor de água de filmes de amido de feijão, com a incorporação de óleo essencial de casca de laranja.

Óleo essencial nos filmes (%)	Permeabilidade ao vapor de água em 24 h (g.mm/m ² .dia.KPa)
0	5,65 ± 0,16 ^a
5	4,81 ± 0,31 ^b
10	4,68 ± 0,31 ^b

Os resultados são expressos como média ($n = 3$) ± desvio padrão.

^{a,b} Valores com letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente ($p > 0,05$).

Na Tabela 2, estão apresentados os resultados da atividade antifúngica dos filmes biodegradáveis, avaliados por microatmosfera. Os testes confirmaram a eficácia dos filmes, demonstrando que a ação é mediada pelos compostos voláteis presentes no óleo essencial (GHABRAIE et al., 2016). Os filmes de amido contendo 5% e 10% de óleo essencial de casca de laranja apresentaram inibição significativa do crescimento fúngico, sendo particularmente eficazes contra *Aspergillus flavus*. Os filmes com 10% de óleo essencial se destacaram, alcançando inibição completa desse fungo, evidenciando o potencial desses filmes como embalagens ativas. A atividade antifúngica pode ser explicada pela interação dos compostos lipofílicos do óleo com a membrana celular dos fungos, desestabilizando a célula e levando à morte celular (WU et al., 2024).

Tabela 2. Atividade antifúngica *in vitro* de filmes de amido de feijão com óleo essencial de casca de laranja avaliada por microatmosfera.

Óleo essencial nos filmes (%)	<i>Penicillium crustosum</i>		<i>Aspergillus flavus</i>
	Inibição	(%)	(%)
5	$35,9 \pm 10,4$ ^{a,B}		$51,2 \pm 6,6$ ^{a,B}
10	$84,1 \pm 15,8$ ^{b,A}		$100,0 \pm 0,0$ ^{a,A}

Os resultados são expressos como média ($n = 3$) \pm desvio padrão.

^{a,b} Valores com letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem significativamente ($p > 0,05$).

^{A,B} Valores com letras maiúsculas diferentes na mesma coluna diferem significativamente ($p > 0,05$).

4. CONCLUSÃO

Os filmes produzidos a partir de amido de feijão carioca mostraram-se promissores. A permeabilidade ao vapor de água foi baixa, chegando a um máximo de 4,68 g.mm/m².dia.Kpa na amostra com maior adição de óleo, indicando alta capacidade de barreira à umidade. A avaliação da atividade antifúngica por microatmosfera confirmou a eficácia do filme contendo 10% de óleo essencial, o qual demonstrou inibição completa do crescimento de *A. flavus*, evidenciando seu potencial como uma embalagem ativa e biodegradável para alimentos.

5. AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Pelotas (UFPel), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES (código de financiamento 001), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPQ, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul – FAPERGS e à Financiadora de Estudos e Projetos – Finep.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, M. F., SILVA, I. D. L., SILVA, G. A., CAVALCANTE, P. V. D., SILVA, F. T., ALMEIDA, Y. M. B., VINHAS, G. M., & CARVALHO, L. H. A study of poly (butylene adipate co-terephthalate)/orange essential oil films for application in active antimicrobial packaging. **LWT**, v. 125, p. 109-148, 2020.
- ASTM, Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials. **American Society for Testing and Materials**. E. 95, 1995.
- BRUNI, G. P., OLIVEIRA, J. P., FONSECA, L. M., SILVA, F. T., DIAS, A. R. G., & ZAVAREZE, E. R. Biocomposite films based on phosphorylated wheat starch and cellulose nanocrystals from rice, oat, and eucalyptus husks. **Starch/Staerke**, v. 7, n. 3-4, p.1–8, 2020.
- EVANGELHO, J. A., BIDUSKI, B., SILVA, W. M. F., HALAL, S. L. M., LENHANI, G. C., PINTO, V. Z., DIAS, A. R. G., & ZAVAREZE, E. R. Carioca bean starch upon synergic modification: characteristics and films properties. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 101, p. 253–261, 2021.
- EVANGELHO, J. A., DANNENBERG, G. S., BIDUSKI, B., HALAL, S. L. M., KRINGEL, D. H., GALARTE, M. A., FIORENTINI, A. M., & ZAVAREZE, E. R. Antibacterial activity, optical, mechanical, and barrier properties of corn starch films containing orange essential oil. **Carbohydrate Polymers**, v. 222, p. 114981, 2019.
- GHABRAIE, M., VU, K. D., TATA, L., SALMIERI, S., & LACROIX, M. Antimicrobial effect of essential oils in combinations against five bacteria and their effect on sensorial quality of ground meat. **LET**, v. 66, p. 332–339, 2016.
- INGLIS, A., PARSELL, A., SUBRAMANI, N., & DOOHAN, F. Machine Learning Applied to the Detection of Mycotoxin in Food: A Review. **Toxins**, v.16, p. 268, 2024.
- KRINGEL, D. H., LANG, G. H., DIAS, A. R. G., GANDRA, E. A., GANDRA, T. K. V., & ZAVAREZE, E. R. Impact of encapsulated orange essential oil with β -cyclodextrin on technological, digestibility, sensory properties of wheat cakes as well as *Aspergillus flavus* spoilage. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.101, p. 5599–5607, 2021.
- PACHECO, C. O., PIRES, J. B., FONSECA, L. M., JANSEN-ALVES, C., CRUZ, E. P., SANTOS, F. N., SANTANA, L. R., CARREÑO, N. L. V., DIAS, A. R. G., & ZAVAREZE, E. R. Curcumin-loaded antioxidant oleogels based on native and modified bean starches. **Food Bioscience**, v. 61, p. 104994, 2024.
- WU, H., ZHAO, F., LI, Q., HUANG, J., & JU, J. Antifungal mechanism of essential oil against foodborne fungi and its application in the preservation of baked food. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 64, n. 9, p. 2695–2707, 2024.